

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-228527

(P2002-228527A)

(43) 公開日 平成14年8月14日 (2002.8.14)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 1 L 3/10

識別記号

F I

G 0 1 L 3/10

テーマコード(参考)

A

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-26258(P2001-26258)

(22) 出願日 平成13年2月2日 (2001.2.2)

(71) 出願人 000005083

日立金属株式会社

東京都港区芝浦一丁目2番1号

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72) 発明者 横山 紳一郎

島根県安来市安来町2107番地2 日立金属株式会社冶金研究所内

(74) 代理人 100074848

弁理士 森田 寛

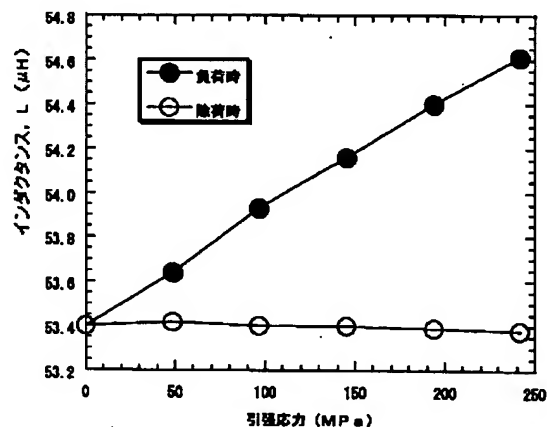
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トルクセンサ用軸材及び該軸材を用いているトルクセンサ

(57) 【要約】

【課題】 ヒステリシスをゼロ近傍にまで低減したトルクセンサ用軸材と該軸材を用いたトルクセンサを提供する。

【解決手段】 質量%でC:0.30~1.50%、Si:0.1~4.0%、Mn:0.1~4.0%、Cr:5.0%を超えて20.0%以下、残部が実質的にFeから成り、強磁性のマルテンサイト主体の組織で組織中に含有する非磁性の残留オーステナイト量が5.0~40.0%であるとともに、残留磁束密度Brが0.6T(テスラ)以下のトルクセンサ用軸材である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 質量%でC：0.30～1.50%、Si：0.1～4.0%、Mn：0.1～4.0%、Cr：5.0%を超えて20.0%以下、残部が実質的にFeから成り、マルテンサイト主体の組織で組織中に含有する残留オーステナイト量が5.0～40.0%であるとともに、残留磁束密度が0.6T（テスラ）以下であることを特徴とするトルクセンサ用軸材。

【請求項2】 更にNi：0.1～5.0%、Al：0.1～4.0%、Co：0.1～4.0%、Mo：0.1～4.0%の1種以上を含有することを特徴とする請求項1に記載のトルクセンサ用軸材。

【請求項3】 ロックウェル硬さが45HRC以上であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のトルクセンサ用軸材。

【請求項4】 請求項1乃至請求項3の何れかに記載のトルクセンサ用軸材を用いているトルクセンサ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、被測定軸に加えられるトルクを磁氣的に検出するために利用される磁歪式トルクセンサの内、被測定軸の材質とその材質を用いているトルクセンサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、磁歪式トルクセンサの分野では、磁性鋼を被測定軸として使用し、磁性鋼が有する磁歪効果を利用して、被測定軸にかかる弾性トルクを磁氣的に検出する手法が用いられている。図1はトルクセンサの出力特性図を示す。トルクセンサの特性は、弾性トルク（入力信号）に対する出力電圧の傾きS（以下、感度と記す。）と、弾性トルクを除去した後の出力電圧の初期値からのずれh（以下、ヒステリシスと記す。）によって評価される。感度（図1のS）が大きく、かつヒステリシス（図1のh）が小さい程、トルクセンサ特性は優れたものとなる。このようなトルクセンサの被測定軸には、磁性とともに機械的強度が要求されるので、従来JISのSK材、SCM材、SNCM材等の構造用鋼が使用されることが多い。これらの構造用鋼は、Feが有する磁歪効果を持ち、かつ安価なので好んで使用される。ところが、磁歪が小さい為に感度が小さく、かつヒステリシスも大きいので、正確なトルク検出を行えないという問題があった。

【0003】上述の問題を解決する為、従来から被測定軸用の材料開発に関し、多くの検討が行われている。例えば、特許2132909号には、質量%でC：0.1～0.5%、Si：1.0%以下、Mn：2.0%以下及び、Ni：5.0%以下とCr：5.0%以下のいずれか一方または両方を含有し残部がFeと不可避不純物の組成からなる材料をトルクセンサの軸材として使用する技術が開示されている。また特許2697846号に

は、特許2132909号の材料を更に改良した組成として、C：0.1～1.5%、Si：0.5～4.0%、Mn：0を超え3.0%以下、Al：0を超え3.0%以下及び、Ni：5.0%以下とCr：5.0%以下のいずれか一方または両方を含有し残部がFeと不可避不純物の組成からなる材料をトルクセンサの軸材として使用する技術が開示されている。これらの技術は、合金元素の添加によって材料の強度、硬さを確保するとともに、各添加元素の特徴を生かし、JIS SK材、SCM材、SNCM材等よりも感度が大きく、かつヒステリシスが小さくなる様に合金成分を調整しているという点で優れた材料技術である。

【0004】また、特許2132587号には磁歪が大きく、強度が高いマルエージング鋼を磁歪式トルクセンサの軸材として使用する技術が開示されている。この技術は、磁歪が大きいFe-Ni系合金に着目することによりトルクセンサの感度を高め、更にマルエージング鋼のマルテンサイト組織とAl、Ti等の析出強化元素によって材料の強度、硬さを確保できるという点で優れた技術である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明者らの検討によると、上述した特許2132909号や特許2697846号、更に特許2132587号に開示されている技術は、トルクセンサ軸材の磁性や磁歪を改善することによって、トルクセンサの感度を上げるという点では有利であるものの、ヒステリシスをゼロ近傍にまでは小さく出来ないという問題がある。その為、被測定軸のゼロ点安定性という点で問題があった。本発明の目的は、上述の問題を解決し、ヒステリシスをゼロ近傍にまで低減したトルクセンサ用軸材とその軸材を用いたトルクセンサを提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上述したトルクセンサ用軸材のヒステリシスの問題に関して、軸材の磁気特性と金属組織の観点から、ヒステリシスに及ぼす材料因子の影響を調査した。その結果、軸材の残留磁束密度を0.6T（テスラ）以下とすることによって、ヒステリシスが低減することを見出した。更にトルクセンサ用軸材に要求される機械的強度を満たした上で、上述の磁気特性を満足するためには、軸材の金属組織として、強磁性であって且つ強度が高いマルテンサイトを主体としたマトリックス（基地）中に、所定範囲に調節した非磁性の残留オーステナイトを残すことが有効であることを見出し、これらの磁気特性と金属組織を満足するための最適な材料組成をも検討した結果、本発明に到達した。

【0007】すなわち本発明は、質量%でC：0.30～1.50%、Si：0.1～4.0%、Mn：0.1～4.0%、Cr：5.0%を超えて20.0%以下、

残部が実質的にFeから成り、マルテンサイト主体の組織で組織中に含有する残留オーステナイト量が5.0～40.0%であるとともに、残留磁束密度が0.6T(テスラ)以下のトルクセンサ用軸材である。好ましくは、更にNi:0.1～5.0%、Al:0.1～4.0%、Co:0.1～4.0%、Mo:0.1～4.0%の1種以上を含有する上述のトルクセンサ用軸材である。好ましくは、ロックウェル硬さが45HRC以上である上述何れかのトルクセンサ用軸材である。更に本発明は、上述何れかのトルクセンサ用軸材を用いているトルクセンサである。

【0008】

【発明の実施の形態】上述したように、本発明は、トルクセンサのヒステリシスをゼロ近傍にまで低減する為に、トルクセンサ用軸材の磁気特性と金属組織を所定の範囲に調整したものであり、これらを満足する最適な材料組成を見出したことにある。

【0009】まずトルクセンサ用軸材の成分元素の内、必須元素の含有量を限定した理由を述べる。

C:0.30～1.50%

Cは、軸材の機械的強度、硬さを確保するために必要な元素である。また本発明のトルクセンサ用軸材の金属組織において、マルテンサイトと残留オーステナイトを得るために必要な元素である。但し、0.30%未満では効果が小さく、逆に1.50%を超えると靱性や塑性加工性が悪くなるので、上述の範囲とした。

Si:0.1～4.0%

Siは、0.1～0.5%の組成範囲では製鋼時の脱酸剤として作用する元素である。また0.5～4.0%の範囲では軸材の応力に対する感度を高める効果がある。但し、4.0%を超えると靱性や塑性加工性が悪くなるので、上述の範囲とした。

【0010】Mn:0.1～4.0%

Mnは、Si同様、製鋼時に脱酸剤として作用する元素である。また磁気特性と残留オーステナイト量を本発明の範囲内に調整する上で有効な元素である。但し、0.1%未満では脱酸剤としての効果も小さく、逆に4.0%を超えると加工性が悪くなるので、上述の範囲とした。

Cr:5.0%を超えて20.0%以下

Crは、焼入れ性を良くして本発明のトルクセンサ用軸材の硬さを上げるとともに、磁気特性と残留オーステナイト量を本発明の範囲内に調整する上で重要な元素である。また自動車部品として使用されるトルクセンサの軸材には、耐食性が要求されることが多く、耐食性を確保する為にも重要な元素である。但し、5.0%以下では耐食性を確保する効果が小さく、また20.0%を超えると加工性が悪くなるので上述の範囲とした。

【0011】本発明のトルクセンサ用軸材には、応力に対する感度を上げるためにNi、Al、Co、Moの1

種以上を添加することができる。ここで、これらの元素の組成範囲とその限定した理由を述べる。

Ni:0.1～5.0%

NiはFe基合金中で磁歪を大きくする効果があるので、軸材の応力に対する感度を高めるのに有効な元素である。またCrと同様、磁気特性と残留オーステナイト量を本発明の範囲内に調整する上で有効な元素である。但し、0.1%未満では効果が小さく、逆に5.0%を超えると、軸材の金属組織は非磁性のオーステナイト主体となって感度が下がるので、上述の範囲に限定した。

Al:0.1～4.0%

AlはSiとよく似た作用を持つ元素であり、軸材の応力に対する感度を高める効果がある。但し0.1%未満では効果が小さく、逆に4.0%を超えると加工性が悪くなるので、上述の範囲に限定した。

【0012】Co:0.1～4.0%

CoはNi同様、磁歪を高める作用があるので、軸材の応力に対する感度を高める効果がある。但し0.1%未満では効果が小さく、逆に4.0%を超えると加工性が悪くなるので、上述の範囲に限定した。

Mo:0.1～4.0%

Moも軸材の応力に対する感度を高める効果がある。但し0.1%未満では効果が小さく、逆に4.0%を超えると加工性が悪くなるので、上述の範囲とした。本発明においては、上述したNi、Al、Co、Moの内の1種を選択添加しても良いし、これらの内の2種以上を複合添加しても良い。尚、本発明の軸材は不可避不純物としてP、S、Oを、軸材の感度、ヒステリシス特性を劣化させない範囲として、各0.1%までは含有しても良い。

【0013】本発明のトルクセンサ用軸材は、トルクセンサの入力信号に対する出力電圧のヒステリシスが小さい。特にヒステリシスの絶対値が0.5%以下となっているものである。この小さいヒステリシスを得るには、軸材の磁気特性として残留磁束密度が0.6T(テスラ)以下である必要がある。以下にその理由を述べる。磁歪を有する材料は、磁場中で弾性変形を起こす。トルクセンサは磁歪の逆現象を利用している。すなわち弾性トルクを掛けることによって発生する軸材の透磁率の変化をセンサ部が検出するので、外力(弾性トルク)を掛けることによって軸材を磁化していると考えられる。ここで、本発明者らは図1に示すトルクセンサの入力信号(弾性トルク)に対する出力電圧の関係を、図2に示す軸材の磁化曲線に置き換えて考察した。上述した様にトルクセンサ用軸材では、外力(弾性トルク)は、軸材を磁化する際の外部磁場に置き換えて考えることが出来る。更にトルクセンサの出力電圧に生じるヒステリシス(初期値からのずれ)は、強磁性材料を磁化した後、外部磁場をゼロに戻した場合の残留磁束密度Brに相当すると考えることが出来る。以上の観点から、本

発明では軸材の残留磁束密度 $B_r$ を小さくすることが、トルクセンサのヒステリシスを低減する上で有効であると考えた。残留磁束密度 $B_r$ を0.6 T (テスラ) 以下としたのは、これを超えるとヒステリシスが特に大きくなるので、残留磁束密度を0.6 T以下としている。

【0014】次にトルクセンサ用軸材の金属組織を規定した理由を述べる。上述した通り、本発明軸材には残留磁束密度0.6 T以下の磁気特性が要求される。鉄鋼材料の組織には、フェライト、マルテンサイト、オーステナイト等があるが、強磁性の組織であって、かつトルクセンサ用軸材に必要な機械的強度、硬さを満足するためには、マトリックス（基地）組織はマルテンサイトを主体とする必要がある。ところがマトリックス（基地）が強磁性のマルテンサイト100%の組織になっていると、磁化曲線は磁場に対して飽和し易い特性となり、それに伴って残留磁束密度は高くなる。これは、軸材のヒステリシス増大に繋がる。このため本発明では、強磁性のマルテンサイト組織中に非磁性の残留オーステナイトを所定量含有する組織とすることにより、軸材の残留磁束密度ひいてはヒステリシスを低減できるという新規な知見をもとに、残留オーステナイト量を5.0～40.

0%の範囲に規定した。この理由は、5.0%未満では上述の残留磁束密度ひいてはヒステリシスを低減する効果が小さく、逆に40.0%を超えると非磁性組織が多くなり過ぎて、軸材の感度が落ちるからである。

【0015】本発明のトルクセンサ用軸材は、ロックウェル硬さ45 HRC以上であることが好ましい。この硬さは構造体の強度として最低限必要な硬さである。望ましい硬さは50 HRC以上である。本発明のトルクセンサ用軸材は、優れたヒステリシスを示すので、本発明のトルクセンサ用軸材を用いてトルクセンサとすれば、磁歪式トルクセンサ用途として、特に使い易い材質である。

【0016】

【実施例】本発明では、トルクセンサ用軸材の組成と磁気特性、残留オーステナイト量が特に重要であり、硬さも重要なものである。種々の組成を有する21種の鋼塊を真空溶解炉で作製した。実験材の化学組成を表1に示す。

【0017】

【表1】

No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Al	Ti	Co	Mo	Fe	N	O
1	0.99	1.00	0.38	0.005	0.002	0.20	7.53	—	—	—	2.00	Bal.	0.021	0.005
2	0.95	0.30	0.70	0.005	0.001	—	13.01	—	—	—	—	Bal.	0.020	0.005
3	0.98	0.34	0.43	0.005	0.003	—	17.10	—	—	—	0.40	Bal.	0.022	0.005
4	0.71	0.36	0.39	0.005	0.004	—	17.06	—	—	—	0.41	Bal.	0.017	0.004
5	0.51	0.35	0.39	0.005	0.003	—	17.01	—	—	—	0.40	Bal.	0.021	0.004
6	0.99	0.98	0.42	0.005	0.003	—	16.89	—	—	—	0.41	Bal.	0.020	0.004
7	1.00	1.97	0.42	0.004	0.002	—	16.88	—	—	—	0.41	Bal.	0.021	0.004
8	0.99	0.35	0.41	0.004	0.003	1.02	17.08	—	—	—	0.41	Bal.	0.021	0.004
9	0.98	0.35	0.41	0.005	0.003	2.01	17.07	—	—	—	0.42	Bal.	0.022	0.006
10	0.98	0.35	0.42	0.004	0.004	2.06	16.89	—	—	—	0.42	Bal.	0.022	0.006
11	0.98	0.34	0.40	0.005	0.003	—	17.10	1.01	—	—	0.41	Bal.	0.021	0.004
12	0.97	0.36	0.41	0.005	0.003	—	17.10	1.88	—	—	0.40	Bal.	0.021	0.004
13	0.98	0.35	0.41	0.004	0.003	—	17.09	3.01	—	—	0.40	Bal.	0.016	0.004
14	0.98	0.35	0.41	0.005	0.002	—	17.02	—	—	1.01	0.41	Bal.	0.023	0.004
15	0.99	0.35	0.40	0.005	0.002	—	16.89	—	—	2.02	0.40	Bal.	0.021	0.004
16	0.98	0.35	0.40	0.005	0.002	—	16.88	—	—	2.89	0.40	Bal.	0.022	0.005
17	1.01	0.35	0.40	0.005	0.002	—	16.89	—	—	—	1.02	Bal.	0.022	0.006
18	1.00	0.36	0.41	0.005	0.002	—	17.01	—	—	—	1.52	Bal.	0.022	0.004
19	1.02	0.36	0.41	0.006	0.002	—	17.02	—	—	—	2.01	Bal.	0.016	0.004
20	0.35	0.24	0.51	0.006	0.003	4.01	0.01	—	—	—	—	Bal.	0.017	0.003
21	0.01	0.22	0.51	0.004	0.002	18.10	—	0.11	0.49	9.20	8.01	Bal.	0.021	0.004

【0018】表1の各素材の組成について説明する。No. 1～3は、本発明の範囲内でCとCrを変動させた組成である。No. 4～19は、No. 3の組成を基本として、それぞれCを低減した組成（No. 4～5）、Siを増量した組成（No. 6～7）、Niを添加した組成（No. 8～10）、Alを添加した組成（No. 11～13）、Coを添加した組成（No. 14～16）、Moを増量した組成（No. 17～19）である。No. 1～19は、いずれも本発明の組成である。No. 20～21は比較例の組成である。No. 20は質量%でFe-4%Ni-0.35%Cを基本組成とする合金であり、これは特許2132909号に開示されるトルクセンサ用軸材の組成に含まれる。またNo. 21は質量%でFe-18%Ni-9.2%Co-0.1%A1-0.5%Tiを基本組成とするマルエージング鋼であり、特許2132587号に開示されるトルクセ

ンサの軸材質に相当する。

【0019】得られた鋼塊を1220℃でソーキングした後、1100℃で熱間鍛造し、直径22mmの丸棒を得た。次に870℃の炉内で4h保持後、20℃/hの冷却速度で600℃まで冷却した後、炉内で室温まで冷却した。この焼鈍処理により素材は軟らかくなり、実際にトルクセンサ軸を作製する場合の塑性加工が可能となる。本実施例では、材料特性の評価用サンプルとして、この素材より下記の3種の試験片を採取した。

a) 丸棒：直径10mm×長さ80mm（両端ネジ加工）

b) 板：板厚1mm×幅8mm×長さ100mm

c) 円板：板厚7mm×直径22mm

上記a)丸棒は、トルクセンサ特性である感度とヒステリシスを測定するための試験片である。上記b)板は磁性測定片であり、上記c)円板は残留オーステナイト量

と硬さを測定するための測定片である。

【0020】上記a)～c)の試験片を、各素材が最も硬くなる条件で熱処理を行った。各素材の磁気特性は、上記b)の板サンプルに対し、40,000A/mの直流磁場を印加した後の残留磁束密度 $B_r$ を測定した。また各素材の残留オーステナイト量は、上記c)の円板を用いて、X線回折により測定した。また硬さは、ロックウェル硬度計により測定した。

【0021】本実施例では作製した素材のトルクセンサ特性を簡易的に評価する手法として上記a)の試験片を使い、引張試験機とLCRメータを用いて評価した。以下、評価方法を述べる。まず、磁気検出用のサーチコイルとして、内径10mmの円筒状の空芯コイル(コイル長さ20mm)を作製した。コイル巻数は100回とした。このサーチコイルを上記a)の試験片に被せ、試験片の両端は引張試験機に、サーチコイルの両端はLCRメータに接続した。LCRメータの設定は、周波数80kHz、電流値8mAとした。試験片に印加した磁場は\*

$$S = (L_{\text{負荷時}} - L_0) / \sigma \quad [\mu\text{H}/\text{MPa}] \cdots (1)$$

また、引張応力 $\sigma$  [MPa]を印加した後、除荷した時のヒステリシス $h$ は、次式(2)で評価した。

$$h = 100 \times (L_{\text{除荷時}} - L_0) / L_0 [\%] \cdots (2)$$

各素材の熱処理条件と磁気特性、残留オーステナイト量、ロックウェル硬さ、及び250MPaの応力を掛け

\*56.6A/mである。

【0022】この状態で、引張応力を掛ける前のインダクタンスの初期値 $L_0$ をLCRメータで測定した。次に、素材の弾性限内で引張応力を掛け、応力を負荷した時のインダクタンスの値( $L_{\text{負荷時}}$ )を測定した。続いて引張応力を除荷し、応力ゼロに戻した時のインダクタンスの値( $L_{\text{除荷時}}$ )を測定した。引張応力の値を素材の弾性限内で徐々に上げて行き、上記の測定を繰り返した。測定例として、本発明の素材No.4のインダクタンスー応力特性を図3に示す。また比較例として素材No.20のインダクタンスー応力特性を図4に示す。図3～4から、本発明の素材No.4では除荷時のインダクタンス(図3の○印)が初期値の近傍で安定しているのに対し、比較例の素材No.20では除荷時のインダクタンス(図4の○印)が応力増加とともに初期値からずれて行くことが分かる。

【0023】引張応力 $\sigma$  [MPa]を印加した時の感度 $S$ は、次式(1)で評価した。

20 た場合の各素材の感度 $S$  [ $\mu\text{H}/\text{MPa}$ ]と、250MPaの応力を掛けた後、応力を除荷した時の各素材のヒステリシス $h$  [%]を表2にまとめて示す。

【0024】

【表2】

No.	熱処理温度	残留磁束密度 Br(T)	残留オーステナイト量(%)	硬さ HRC	硬度S ( $\times 10^{-4} \mu\text{H}/\text{MPa}$ )	ヒステリシスh (%)	備考
1	(焼入)1030℃→(焼戻)120℃	0.41	30.9	64.1	4.5	-0.078	本発明
2	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.52	16.4	61.9	3.7	-0.040	本発明
3	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.56	15.3	59.7	4.0	-0.079	本発明
4	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.58	6.6	56.5	5.0	-0.037	本発明
5	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.59	5.4	53.5	7.0	-0.340	本発明
6	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.64	10.0	60.0	4.4	-0.093	本発明
7	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.55	8.0	57.5	5.2	-0.140	本発明
8	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.52	14.7	58.7	4.1	-0.140	本発明
9	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.44	15.0	57.4	4.3	-0.040	本発明
10	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.33	30.1	55.1	3.3	0	本発明
11	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.54	12.7	57.5	4.3	-0.091	本発明
12	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.55	10.9	50.9	5.2	-0.152	本発明
13	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.58	8.7	45.5	5.8	-0.211	本発明
14	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.53	11.5	56.0	4.2	-0.088	本発明
15	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.55	9.6	51.5	4.4	-0.120	本発明
16	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.58	7.4	47.5	4.7	-0.197	本発明
17	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.55	7.5	59.6	4.4	-0.076	本発明
18	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.54	7.0	59.1	4.5	-0.076	本発明
19	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.54	7.1	58.5	4.6	-0.076	本発明
20	(焼入)900℃→(焼戻)120℃	0.70	0.9	6.8	4.8	-1.049	比較例
21	(焼入)820℃→(焼戻)800℃	0.63	0	53.1	6.1	-1.000	比較例

【0025】本発明では、優れたヒステリシスの指標として、ヒステリシスの絶対値が0.50%以下であることとしている。ヒステリシスの絶対値が0.50%以下であれば、トルクセンサ被測定軸のゼロ安定性は良く、トルク検出を行う上での支障は無いと判断できる。本発明のトルクセンサ用軸材であるNo. 1～19では、い

【0026】ここで各軸材の残留磁束密度と残留オーステナイト量を見ると、本発明のNo. 1～19では、い

を超え、残留オーステナイト量は5%未満となっている。また本発明のNo. 1～19では、いずれもロックウェル硬さ45HRC以上の硬さを有している。本実施例から、素材の組成、残留磁束密度、残留オーステナイト量を本発明の範囲内に調節することにより、トルクセンサ軸材として優れたヒステリシスが得られることが分かる。本発明のトルクセンサ軸材は、優れたゼロ点安定性を有するトルクセンサとして使用できることが明らかである。

【0027】

【発明の効果】本発明によればトルクセンサ軸材の組成、残留磁束密度、残留オーステナイト量を所定の範囲内に調整することにより、トルクセンサのヒステリシスを飛躍的に低減することができる。本発明はゼロ点安定性に優れたトルクセンサを実現するに当たって欠くことのできない技術である。

【図面の簡単な説明】

【図1】トルクセンサの出力特性図である。

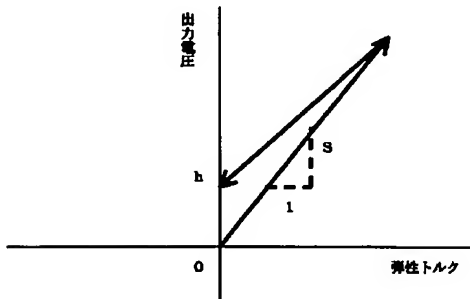
【図2】トルクセンサ軸材の磁化曲線の模式図である。

【図3】本発明のトルクセンサ用軸材のインダクタンス\*

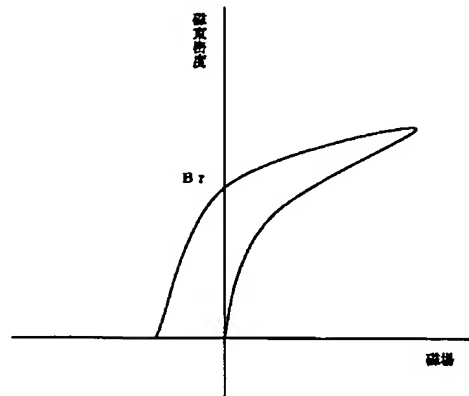
\* - 応力特性を示す図である。

【図4】比較例のインダクタンス-応力特性を示す図である。

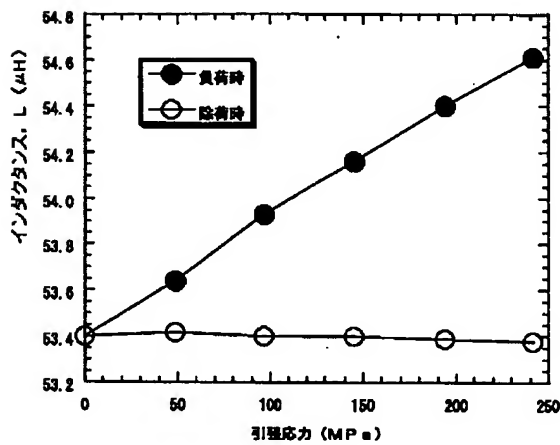
【図1】



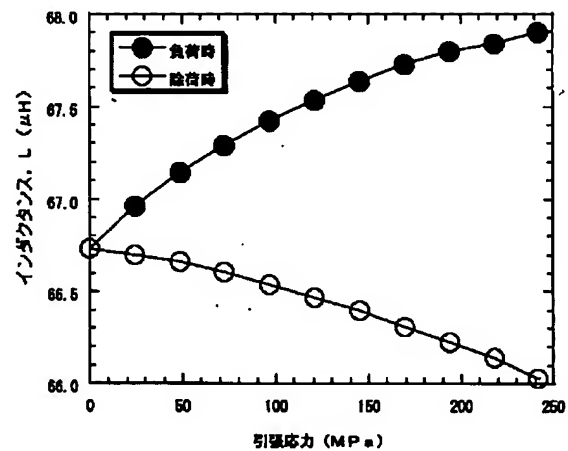
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 佐々木 計  
島根県安来市安来町2107番地2 日立金属  
株式会社冶金研究所内

(72)発明者 大野 丈博  
島根県安来市安来町2107番地2 日立金属  
株式会社安来工場内

(72)発明者 杉谷 伸芳  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動  
車株式会社内



# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-228527

(43)Date of publication of application : 14.08.2002

(51)Int.Cl.

G01L 3/10

(21)Application number : 2001-026258

(71)Applicant : HITACHI METALS LTD  
TOYOTA MOTOR CORP

(22)Date of filing : 02.02.2001

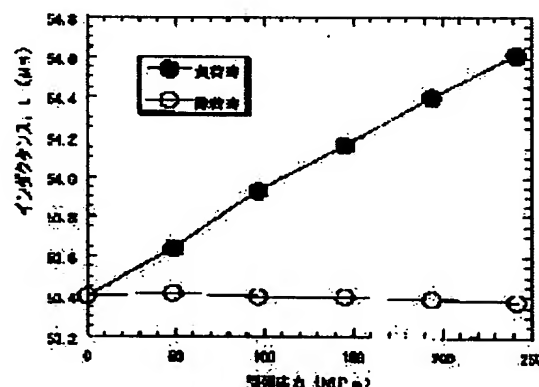
(72)Inventor : YOKOYAMA SHINICHIRO  
SASAKI KAZU  
ONO TAKEHIRO  
SUGITANI NOBUYOSHI

(54) SHAFT MATERIAL FOR TORQUE SENSOR AND TORQUE SENSOR USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a shaft material for a torque sensor with its hysteresis reduced close to zero, and a torque sensor using the same.

SOLUTION: This shaft material for a torque sensor contains 0.30 to 1.50% C, 0.1 to 4.0% Si, 0.1 to 4.0% Mn, more than 5.0-20.0% Cr, each mass%, and the balance substantially Fe. Its structure is mainly composed of ferromagnetic martensite, the amount of nonmagnetic residual austenite contained in the structure is 5.0 to 40.0%, and its residual magnetic flux density Br is 0.6 T (teslas) or less.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

22.04.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

**[Claim(s)]**

[Claim 1] Axial material for torque sensors characterized by a residual magnetic flux density being below 0.6T (tesla) while the amount of retained austenites which the remainder consists of Fe substantially 20.0% or less exceeding C:0.30 - 1.50%, Si:0.1-4.0%, Mn:0.1-4.0%, and Cr:5.0% by mass %, and is contained during an organization in the organization of a martensite subject is 5.0 - 40.0%.

[Claim 2] Furthermore, axial material for torque sensors according to claim 1 characterized by containing one or more sorts (nickel:0.1-5.0%, aluminum:0.1-4.0%, Co:0.1-4.0%, and Mo:0.1-4.0%).

[Claim 3] Axial material for torque sensors according to claim 1 or 2 characterized by the Rockwell hardness being 45 or more HRCs.

[Claim 4] The torque sensor which uses the axial material for torque sensors given in any of a claim 1 or a claim 3 they are.

**[Detailed Description of the Invention]**

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to the torque sensor which uses the quality of the material and the quality of the material of a measured shaft among the magnetostriction formula torque sensors used in order to detect magnetically the torque added to a measured shaft.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, in the field of the magnetostriction formula torque sensor, magnetic steel is used as a measured shaft and the technique of detecting the elastic torque concerning a measured shaft magnetically is used using the magnetostrictive effect which magnetic steel has. Drawing 1 shows the output-characteristics view of a torque sensor. The property of a torque sensor is estimated inclination S (it is hereafter described as sensitivity.) of the output voltage to elastic torque (input signal) by the gap h from the initial value of the output voltage after removing elastic torque (it is hereafter described as a hysteresis.). A torque-sensor property becomes the outstanding thing, so that sensitivity (S of drawing 1) is large and

a hysteresis (h of drawing 1 ) is small. Since a mechanical strength is required with magnetism, structural steels, such as SK material of JIS, SCN material, and SNCM material, are conventionally used for such a measured shaft of a torque sensor in many cases. These structural steels have the magnetostrictive effect which Fe has, and since it is cheap, they are used by preference. However, since a magnetostriction was small and the hysteresis was [ sensitivity was small and ] also large, there was a problem that exact torque detection could not be performed.

[0003] In order to solve an above-mentioned problem, many examination is performed about the material development for measured shafts from the former. For example, the technology which uses the material to which either or both less than [ Si:1.0% ], less than [ Mn:2.0% ] and less than [ nickel:5.0% ], and not more than Cr:5.0% are contained in JP,2132909,B C:0.1 to 0.5% by mass %, and the remainder becomes it from composition of Fe and an unescapable impurity as axial material of a torque sensor is indicated. Moreover, the technology which uses the material which it considers as the composition which improved the material of JP,2132909,B further, and aluminum:0 is exceeded 3.0% or less, either or both 3.0% or less and less than [ nickel:5.0% ], and not more than Cr:5.0% are contained by exceeding Mn:0 C:0.1 - 1.5% and Si:0.5-4.0%, and the remainder becomes from composition of Fe and an unescapable impurity as axial material of a torque sensor is indicated by JP,2697846,B. such technology is the material technology excellent in the point of sensitivity being larger than JISSK material, SCN material, SNCM material, etc., and adjusting the alloy content taking advantage of the feature of each alloying element so that a hysteresis may become small while securing the intensity of material, and hardness by addition of an alloy element

[0004] Moreover, to JP,2132587,B, a magnetostriction is large and the technology in which intensity uses a high maraging steel as axial material of a magnetostriction formula torque sensor is indicated. This technology is the technology excellent in the point that the sensitivity of a torque sensor is raised and the intensity of material and hardness can be further secured with precipitation-strengthening elements, such as martensitic structure of a maraging steel, aluminum, and Ti, when a magnetostriction pays its attention to a large Fe-nickel system alloy.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] According to examination of this invention persons, in that the sensitivity of a torque sensor is raised by improving the magnetism of torque-sensor shaft material, and a magnetostriction, JP,2132909,B mentioned above, JP,2697846,B, and the technology currently further indicated by JP,2132587,B have the problem that a hysteresis cannot be made small near the zero, although it is advantageous. For the reason, there was a problem in respect of the zero point stability of a measured shaft. The purpose of this invention is offering the torque sensor using

the axial material for torque sensors which solved the above-mentioned problem and reduced the hysteresis even near the zero, and its axial material.

[0006]

[Means for Solving the Problem] This invention persons investigated the influence of the material factor exerted on a hysteresis from the magnetic properties of axial material, and a viewpoint of a metal texture about the problem of the hysteresis of the axial material for torque sensors mentioned above. Consequently, it found out that a hysteresis decreased by making the residual magnetic flux density of axial material below into 0.6T (tesla). furthermore, after filling the mechanical strength required of the axial material for torque sensors, in order to satisfy above-mentioned magnetic properties In the matrix (base) which is ferromagnetism and made martensite with high intensity the subject as a metal texture of axial material It found out that it was effective to leave the nonmagnetic retained austenite adjusted in the predetermined range, and this invention was reached as a result of also considering the optimal material composition for satisfying these magnetic properties and metal textures.

[0007] That is, while the amount of retained austenites which the remainder consists of Fe substantially 20.0% or less exceeding C:0.30 - 1.50%, Si:0.1-4.0%, Mn:0.1-4.0%, and Cr:5.0% by mass %, and contains this invention during an organization in the organization of a martensite subject is 5.0 - 40.0%, a residual magnetic flux density is the axial material for torque sensors below 0.6T (tesla). Preferably, it is the above-mentioned axial material for torque sensors which contains one or more sorts (nickel:0.1-5.0%, aluminum:0.1-4.0%, Co:0.1-4.0%, and Mo:0.1-4.0%) further. \*\*\*\* whose Rockwell hardness is 45 or more HRCs preferably -- it is which axial material for torque sensors Furthermore, this invention is a torque sensor which uses the axial material for torque sensors above-mentioned [ one of ].

[0008]

[Embodiments of the Invention] As mentioned above, in order to reduce the hysteresis of a torque sensor even near the zero, this invention adjusts the magnetic properties and the metal texture of the axial material for torque sensors to the predetermined range, and is to have found out the optimal material composition with which are satisfied of these.

[0009] The reason which limited the content of essential element among the component elements of the axial material for torque sensors first is explained.

C:0.30 - 1.50%C is an element required in order to secure the mechanical strength of axial material, and hardness. Moreover, in the metal texture of the axial material for torque sensors of this invention, it is an element required in order to obtain martensite and a retained austenite. however, at less than 0.30%, since toughness and plastic-working nature became bad when the effect exceeded 1.50% conversely small, it

considered as the above-mentioned range

Si: 0.1 - 4.0%Si is an element which acts as a deoxidizer at the time of steel manufacture in 0.1 - 0.5% of composition range. Moreover, in 0.5 - 4.0% of range, there is an effect which raises the sensitivity to the stress of axial material. However, since toughness and plastic-working nature became bad when it exceeded 4.0%, it considered as the above-mentioned range.

[0010] Mn: 0.1 - 4.0%Mn is an element which acts as a deoxidizer at the time of steel manufacture like Si. Moreover, it is an element effective when adjusting magnetic properties and the amount of retained austenites within the limits of this invention. however, at less than 0.1%, since processability came to be bad when the effect as a deoxidizer was also small and exceeded 4.0% conversely, it considered as the above-mentioned range

Cr: It is an element important while Cr improves hardenability 20.0% or less and raising the hardness of the axial material for torque sensors of this invention exceeding 5.0%, when adjusting magnetic properties and the amount of retained austenites within the limits of this invention. Moreover, it is an important element, in order to require corrosion resistance of the axial material of the torque sensor used as autoparts in many cases and to secure corrosion resistance to it. however, at 5.0% or less, since processability became bad when the effect of securing corrosion resistance was small and exceeded 20.0% again, it considered as the above-mentioned range

[0011] In the axial material for torque sensors of this invention, in order to raise the sensitivity to stress, one or more sorts of nickel, aluminum, Co, and Mo can be added. Here, the composition range and the limited reason of these elements are explained.

nickel: Since 0.1 - 5.0%nickel has the effect which enlarges a magnetostriction in Fe basis alloy, it is an element effective in raising the sensitivity to the stress of axial material. Moreover, it is an element effective when adjusting magnetic properties and the amount of retained austenites within the limits of this invention like Cr. however, at less than 0.1%, since the metal texture of axial material became that an effect is small and exceeds 5.0% conversely with the nonmagnetic austenite subject and sensitivity fell, it limited to the above-mentioned range

aluminum: 0.1 - 4.0%aluminum is an element with the operation just like Si, and has the effect which raises the sensitivity to the stress of axial material. however, at less than 0.1%, since processability became bad when the effect was small, on the contrary exceeded 4.0%, it limited to the above-mentioned range

[0012] Co: Since 0.1-4.0%Co has like nickel the operation which raises a magnetostriction, there is an effect which raises the sensitivity to the stress of axial material. however, at less than 0.1%, since processability became bad when the effect was small, on the contrary exceeded 4.0%, it limited to the above-mentioned range

Mo: It is effective in Mo raising the sensitivity to the stress of axial material 0.1 to 4.0%. however, at less than 0.1%, since processability became bad when the effect exceeded 4.0% conversely small, it considered as the above-mentioned range In this invention, selection addition of the one sort in nickel, aluminum, Co, and Mo which were mentioned above may be carried out, and compound addition or more of two of the sorts of these may be carried out. In addition, the axial material of this invention may contain 0.1% each as an unescapable impurity as a range as for which P, S, and O do not degrade the sensitivity of axial material, and a hysteresis characteristic.

[0013] The axial material for torque sensors of this invention has the small hysteresis of the output voltage to the input signal of a torque sensor. Especially the absolute value of a hysteresis is 0.5% or less. In order to acquire this small hysteresis, a residual magnetic flux density needs to be below 0.6T (tesla) as magnetic properties of axial material. The reason is explained below. The material which has a magnetostriction causes elastic deformation all over a magnetic field. The torque sensor uses the reverse phenomenon of a magnetostriction. That is, since the sensor section detects change of the permeability of the axial material generated by imposing elastic torque, it is possible by imposing external force (elastic torque) that axial material is magnetized. Here, this invention persons transposed the relation of the output voltage to the input signal (elastic torque) of a torque sensor shown in drawing 1 to the magnetization curve of the axial material shown in drawing 2 , and considered it. As mentioned above, by the axial material for torque sensors, external force (elastic torque) can be transposed to the external magnetic field at the time of magnetizing axial material, and can be considered. furthermore, after the hysteresis (gap from initial value) produced in the output voltage of a torque sensor magnetizes a ferromagnetic material, it is equivalent to the residual magnetic flux density  $B_r$  at the time of returning an external magnetic field to zero -- then, it can think From the above viewpoint, making small the residual magnetic flux density  $B_r$  of axial material thought that it was effective when reducing the hysteresis of a torque sensor by this invention. Since a hysteresis will become large especially if this is exceeded, having made the residual magnetic flux density  $B_r$  below into 0.6T (tesla) makes the residual magnetic flux density less than [ 0.6T ].

[0014] Next, the reason for having specified the metal texture of the axial material for torque sensors is explained. The magnetic properties not more than residual magnetic flux density 0.6T are required of this invention shaft material as mentioned above. Although there are a ferrite, martensite, an austenite, etc. in the organization of a ferrous material, it is a ferromagnetic rganization, and in order to satisfy a mechanical strength required for the axial material for torque sensors, and hardness, a matrix (base) organization needs to make martensite a subject. However, if the matrix (base) is a ferromagnetic martensite 100% organization, a magnetization curve will serve as a

property which is easy to be saturated to a magnetic field, and a residual magnetic flux density will become high in connection with it. This leads to hysteresis increase of axial material. For this reason, by this invention, by considering as the organization which does specified quantity content of the nonmagnetic retained austenite into ferromagnetic martensitic structure prescribed the amount of retained austenites to 5.0 - 40.0% of range based on the new knowledge that the degree of residual-magnetic-induction dense, as a result hysteresis of axial material can be reduced. this reason is that nonmagnetic organizations will increase in number too much, and the sensitivity which is axial material will fall at less than 5.0% if the effect of reducing the above-mentioned degree of residual-magnetic-induction dense, as a result an above-mentioned hysteresis is small and exceeds 40.0% conversely

[0015] As for the axial material for torque sensors of this invention, it is desirable that they are 45 or more HRCs in the Rockwell hardness. This hardness is hardness indispensable as intensity of the structure. Desirable hardness is 50 or more HRCs. Since the axial material for torque sensors of this invention shows the outstanding hysteresis, it is the quality of the material which is especially easy to use as a torque sensor, then a magnetostriction formula torque-sensor use using the axial material for torque sensors of this invention.

[0016]

[Example] In especially this invention, composition and magnetic properties of the axial material for torque sensors, and the amount of retained austenites are important, and important also for hardness. 21 sorts of steel ingots which have various composition were produced by the vacuum melting furnace. The chemical composition of experiment material is shown in Table 1.



[0017]

[Table 1]

No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Al	Ti	Co	Mo	Fe	N	O
1	0.99	1.00	0.98	0.005	0.002	0.20	7.53	—	—	—	2.00	Bal.	0.021	0.008
2	0.95	0.90	0.70	0.005	0.001	—	18.01	—	—	—	—	Bal.	0.020	0.008
3	0.98	0.94	0.43	0.005	0.003	—	17.10	—	—	—	0.40	Bal.	0.028	0.008
4	0.71	0.96	0.99	0.005	0.004	—	17.06	—	—	—	0.41	Bal.	0.017	0.004
5	0.51	0.95	0.99	0.005	0.003	—	17.01	—	—	—	0.40	Bal.	0.021	0.004
6	0.99	0.98	0.43	0.005	0.003	—	16.89	—	—	—	0.41	Bal.	0.020	0.004
7	1.00	1.97	0.43	0.004	0.002	—	16.88	—	—	—	0.41	Bal.	0.021	0.004
8	0.99	0.95	0.41	0.004	0.003	1.03	17.08	—	—	—	0.41	Bal.	0.021	0.004
9	0.98	0.95	0.41	0.005	0.003	2.01	17.07	—	—	—	0.42	Bal.	0.028	0.008
10	0.98	0.95	0.43	0.004	0.004	2.96	16.99	—	—	—	0.42	Bal.	0.023	0.004
11	0.98	0.94	0.40	0.005	0.003	—	17.10	1.01	—	—	0.41	Bal.	0.021	0.004
12	0.97	0.95	0.41	0.005	0.003	—	17.10	1.88	—	—	0.40	Bal.	0.021	0.004
13	0.98	0.95	0.41	0.004	0.003	—	17.09	3.01	—	—	0.40	Bal.	0.015	0.004
14	0.99	0.95	0.41	0.005	0.002	—	17.02	—	—	1.01	0.41	Bal.	0.023	0.004
15	0.99	0.95	0.40	0.005	0.002	—	16.99	—	—	2.02	0.40	Bal.	0.021	0.004
16	0.98	0.95	0.40	0.005	0.002	—	16.88	—	—	2.99	0.40	Bal.	0.023	0.008
17	1.01	0.95	0.40	0.005	0.002	—	16.89	—	—	—	1.02	Bal.	0.022	0.008
18	1.00	0.98	0.41	0.005	0.002	—	17.01	—	—	—	1.52	Bal.	0.023	0.004
19	1.02	0.98	0.41	0.005	0.002	—	17.02	—	—	—	2.01	Bal.	0.015	0.004
20	0.35	0.94	0.51	0.008	0.003	4.01	0.01	—	—	—	—	Bal.	0.017	0.008
21	0.01	0.23	0.51	0.004	0.002	16.10	—	0.11	0.49	9.20	5.01	Bal.	0.021	0.004

[0018] Composition of each material of Table 1 is explained. No.1-3 are the composition which fluctuated C and Cr within the limits of this invention. The composition whose No.4-19 reduced C on the basis of composition of No.3, respectively (No.4-5), They are the composition (No.6-7) which increased the quantity of Si, the composition (No.8-10) which added nickel, the composition (No.11-13) which added aluminum, the composition (No.14-16) which added Co, and the composition (No.17-19) which increased the quantity of Mo. Each No.1-19 is composition of this invention. No.20-21 are composition of the example of comparison. No.20 are an alloy which considers F -4%nickel-0.35%C as basic composition by mass %, and this is contained in composition of the axial material for torque sensors indicated by JP,2132909,B. Moreover, No.21 are a maraging

steel which considers Fe-18%nickel-9.2%Co-0.1%aluminum-0.5%Ti as basic composition by mass %, and are equivalent to the axial quality of the material of the torque sensor indicated by JP,2132587,B.

[0019] After soaking the obtained steel ingot at 1220 degrees C, hot forging was carried out at 1100 degrees C, and the round bar with a diameter of 22mm was obtained. Next, after cooling to 600 degrees C with the cooling rate of 20 degrees C/h after 4h maintenance in a 870-degree C furnace, it cooled to the room temperature in the furnace. A material becomes soft by this annealing processing, and plastic working in the case of actually producing a torque-sensor shaft becomes possible. In this example, three sorts of following test pieces were extracted from this material as a sample for evaluation of a material property.

a) Round bar : a diameter [ of 10mm ] x length of 80mm (ends screw processing)  
 b) Board : board thickness 1mmx width-of-face 8mmx length 100mmc Disk: The 7mm x diameter [ of 22mm ] above-mentioned [ of board thickness ] a round bar is a test piece for measuring the sensitivity and the hysteresis which are a torque-sensor property. The above-mentioned b board is a piece of magnetic measurement, and the above-mentioned c disk is a piece of measurement for measuring the amount of retained austenites, and hardness.

[0020] Each material heat-treated the test piece of Above a-c on the conditions which become the hardest. The magnetic properties of each material measured the residual magnetic flux density Br after impressing the direct-current magnetic field of 40,000 A/m to the board sample of Above b. Moreover, the amount of retained austenites of each material was measured according to the X diffraction using the disk of Above c. Moreover, hardness was measured with the Rockwell hardness meter.

[0021] The test piece of Above a was used as the technique of evaluating the torque-sensor property of the produced material in simple, and this example estimated using the tension tester and the LCR meter. Hereafter, the evaluation method is described. First, the air-core coil (20mm of coil lengths) of the shape of a cylinder with a bore of 10mm was produced as a search coil for magnetic detection. Coil number of turns were made into 100 times. This search coil was put on the test piece of Above a, the ends of a test piece were connected to the tension tester, and the ends of a search coil were connected to the LCR meter. A setup of an LCR meter was made into the frequency of 80kHz, and the current value of 8mA. The magnetic field impressed to the test piece is 56.6 A/m.

[0022] The initial value L0 of the inductance before applying tensile stress in this state was measured by the LCR meter. Next, tensile stress was applied within the elastic limit of a material, and the value (at the time of L load) of the inductance when carrying out the load of the stress was measured. Then, unloading of the tensile stress was

carried out and the value (at the time of L unloading) of the inductance when returning to stress zero was measured. The value of tensile stress was gradually raised within the elastic limit of a material, it went, and the above-mentioned measurement was repeated. As an example of measurement, the inductance-stress property of material No.4 of this invention is shown in drawing 3 . Moreover, the inductance-stress property of material No.20 is shown in drawing 4 as an example of comparison. Drawing 3 -4 show that the inductance at the time of unloading (O mark of drawing 4 ) shifts from initial value, and goes by material No.20 of the example of comparison with the increase in stress to the inductance at the time of unloading (O mark of drawing 3 ) being stable near the initial value in material No.4 of this invention.

[0023] The following formula (1) estimated the sensitivity S when impressing tensile stress sigma [MPa].

$$S = (\text{at time of L load} - L_0) / \sigma \text{ [}\mu\text{H/MPa]} \text{ -- (1)}$$

Moreover, after impressing tensile stress sigma [MPa], the following formula (2) estimated the hysteresis h when carrying out unloading.

$$h = 100 \times (\text{at the time of L unloading} - L_0) / L_0 \text{ [\%]} \text{ -- (2)}$$

After applying sensitivity [ of each material at the time of applying the heat treatment conditions of each material, and the stress of magnetic properties, the amount of retained austenites, the Rockwell hardness, and 250MPa(s) ] S [muH/MPa], and the stress of 250MPa, hysteresis [ of each material when carrying out unloading of the stress ] h [%] is collectively shown in Table 2.

[0024]

[Table 2]

No.	熱処理温度	残留縦束密度 Br(T)	残留オーステナイト量(%)	硬さ HRC	感度S ( $\times 10^{-4} \mu\text{H/MPa}$ )	ヒステリシスh (%)	備考
1	(焼入)1080℃→(焼戻)120℃	0.41	30.9	64.1	4.5	-0.078	本発明
2	(焼入)1080℃→(焼戻)160℃	0.52	16.4	61.9	3.7	-0.040	本発明
3	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.56	15.3	59.7	4.0	-0.079	本発明
4	(焼入)1060℃→(焼戻)150℃	0.58	8.6	58.5	5.0	-0.037	本発明
5	(焼入)1080℃→(焼戻)160℃	0.59	5.4	53.5	7.0	-0.840	本発明
6	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.54	10.0	60.0	4.4	-0.093	本発明
7	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.55	8.0	67.5	5.3	-0.140	本発明
8	(焼入)1060℃→(焼戻)150℃	0.52	14.7	58.7	4.1	-0.140	本発明
9	(焼入)1080℃→(焼戻)160℃	0.44	16.0	57.4	4.3	-0.040	本発明
10	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.33	30.1	55.1	3.3	0	本発明
11	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.54	12.7	67.5	4.3	-0.091	本発明
12	(焼入)1080℃→(焼戻)160℃	0.55	10.9	60.9	5.2	-0.152	本発明
13	(焼入)1080℃→(焼戻)160℃	0.58	8.7	45.5	5.8	-0.211	本発明
14	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.53	11.5	56.0	4.2	-0.038	本発明
15	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.55	9.6	51.5	4.4	-0.120	本発明
16	(焼入)1080℃→(焼戻)160℃	0.58	7.4	47.5	4.7	-0.197	本発明
17	(焼入)1060℃→(焼戻)150℃	0.55	7.5	59.5	4.4	-0.076	本発明
18	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.54	7.0	59.1	4.5	-0.076	本発明
19	(焼入)1050℃→(焼戻)150℃	0.54	7.1	58.5	4.6	-0.076	本発明
20	(焼入)800℃→(焼戻)120℃	0.70	0.9	6.8	4.8	-1.049	比較例
21	(焼入)820℃→(焼戻)500℃	0.63	0	53.1	6.1	-1.000	比較例

[0025] In this invention, it is supposed as an outstanding index of a hysteresis that the absolute value of a hysteresis is 0.50% or less. If the absolute value of a hysteresis is 0.50% or less, it can be judged that the zero stability of the shaft measured [ torque-sensor ] is good, and there is no trouble when performing torque detection. The absolute value of a hysteresis is satisfied [ with No.1-19 which are the axial material for torque sensors of this invention ] of 0.50% or less of property, and can judge each in

them that the stability of the zero point is excellent as torque-sensor shaft material. On the other hand, in No.20-21 of the example of comparison, the absolute value of a hysteresis exceeds 0.50% and is large to about 1%.

[0026] If the residual magnetic flux density and the amount of retained austenites of each axial material are seen here, each will be satisfied [ with No.1-19 of this invention ] of the range of less than [ residual magnetic flux density 0.6T ] and the 5.0 - 40.0% of the amounts of retained austenites. On the other hand, in No.20-21 of the example of comparison, a residual magnetic flux density exceeds 0.6T, and the amount of retained austenites has become less than 5%. Moreover, in No.1-19 of this invention, each has the hardness of 45 or more HRCs in the Rockwell hardness. this example shows that the hysteresis which was excellent as torque-sensor shaft material by adjusting composition of a material, a residual magnetic flux density, and the amount of retained austenites within the limits of this invention is acquired. It is clear that torque-sensor shaft material's of this invention it can be used as a torque sensor which has the outstanding zero point stability.

[0027]

[Effect of the Invention] According to this invention, the hysteresis of a torque sensor can be reduced by leaps and bounds by adjusting composition of torque-sensor shaft material, a residual magnetic flux density, and the amount of retained austenites within the limits of predetermined. this invention is the technology which cannot be lacked in realizing the torque sensor excellent in zero point stability.

[Brief Description of the Drawings]

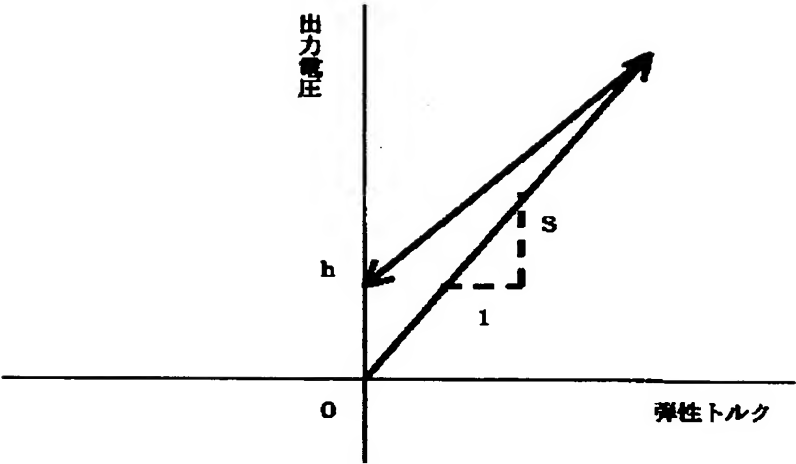
[Drawing 1] It is the output-characteristics view of a torque sensor.

[Drawing 2] It is the \*\* type view of the magnetization curve of torque-sensor shaft material.

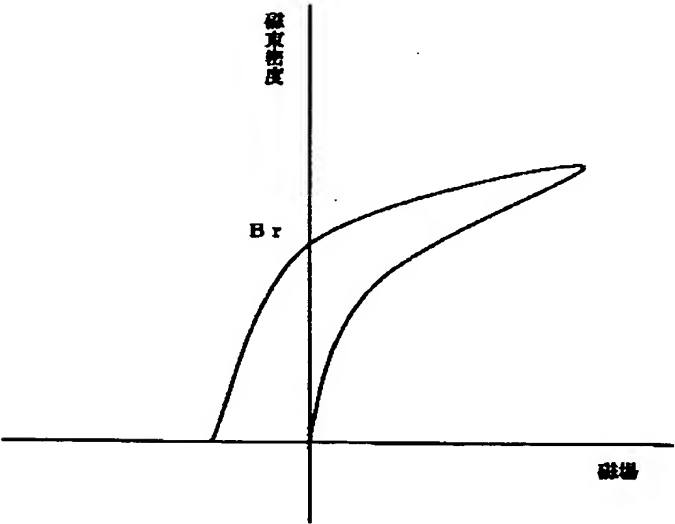
[Drawing 3] It is drawing showing the inductance-stress property of the axial material for torque sensors of this invention.

[Drawing 4] It is drawing showing the inductance-stress property of the example of comparison.

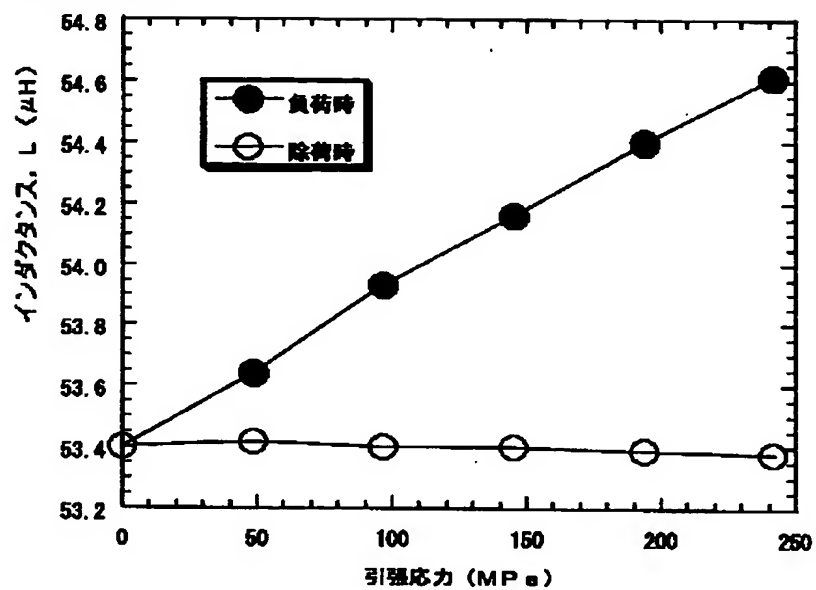
[Drawing 1]



[Drawing 2]



[Drawing 3]



[Drawing 4]

